鋼構造立体ラーメン骨組の倒壊挙動を把握するための解析モデルに関する研究 (その2)立体骨組の追加解析)

214-124 松川 大起

1. はじめに

その 2 では様々な地震動を対象にして,高精度に解析 できる文献 1)の統合化構造解析システムの倒壊挙動と, より簡易な立体骨組モデルを用いて解析を行った倒壊挙 動を比較し,その 1 で提案した改善モデルの妥当性を検 討する.

2. 解析対象

E・ディフェンスにて震動実験が実施された実大4層鉄 骨造建物の完全崩壊試験体²⁾を対象とする.形状・寸法 は図1に示す.

3. 解析モデルの概要

解析モデルは図2に示すような立体骨組モデルとす る.梁は単純塑性ヒンジを用い,加藤秋山の骨格曲線³⁾ と大井らの履歴則4を適用する.正曲げ耐力は鋼構造限 界状態設計指針に基づき算出する.初期剛性は正負曲げ の平均とし,正曲げ側は各種合成構造設計指針に基づき 算出する.柱はその1で示した Multi-Spring モデルを 用いる.圧縮側の復元力特性は文献5)~文献7)を参 考に決定した5折線【基準モデル】(応力上昇率S・第3 劣化勾配 E_{d3})とその1で調整した値【2017年度モデ ル】(応力上昇率 $1.1\times S$ ・第3劣化勾配 $3\times E_{d3}$)を用いて 検討する.しかし本研究で用いた解析対象に対しては本 報で新たに提案する値【その2提案モデル】(応力上昇



率 1.2×S・第3劣化勾配 3×Ed3) を用いる方が統合解析 の解析結果と良い対応を示したので、このパラメータで も検討を行う.接合部パネルはせん断変形のみを考慮し たバイリニア型とし破断は考慮しない.

4. 解析条件

解析プログラムには SNAPver.7 を用いる.本解析モ デルの固有周期は X 方向で 0.87s, Y 方向で 0.83s であ り,実験値(X 方向 0.82s, Y 方向 0.74~0.87s),統合 化構造解析システムの解析モデル(X 方向 0.82s, Y 方 向 0.81s)と概ね良い対応を示している.入力地震動は E・ディフェンスで用いられた地震波 Takatori に加え, 標準 3 波を用いる.標準 3 波においては地動最大速度を 0.5m/s, 1m/s, 1.5m/s に基準化して入力する.入力方向 は Takatori においては水平 2 方向,標準 3 波において は水平 2 方向と鉛直方向を含めた 3 方向で解析を行っ た.しかし,2 方向入力と 3 方向入力の解析結果がほぼ 同じになったため,2 方向入力のみを本報に示すものと し,解析ケースの入力条件を表1に示す.内部粘性減衰 はレーリー型とし,X 方向の1次と2次に対して減衰定 数を 2%とする.

5. 解析結果

ケース0における1層X方向・Y方向構面 Qrr関係, 1層層間変形角のオービット,1階柱下端のM-θ関係を 図3に示す.図より1階柱の履歴性状の差が倒壊性状の 差に大きく寄与していることがよみとれる.基準モデル と2017年度モデルは実験結果・統合解析に比べ,最大 耐力が低く塑性変形が生じやすい傾向が見られた.また 両者は同程度のずれが生じていることから優劣のつけづ らい結果となった.一方その2提案モデルは実験結果・

表1入力ケースと入力条件

		入力条件				
入力ケース		入力レベル (m/s)	入力方向		最大加速度 (m/s²)	
			X 方向	Y方向	X方向	Y方向
0	Takatori	原波	EW	NS	8.49	8.57
1	El Centro	0.5	EW	NS	3.14	5.11
2		1.0	EW	NS	6.28	10.22
3		1.5	EW	NS	9.43	15.33
4	Hachinohe	0.5	EW	NS	2.62	3.34
5		1.0	EW	NS	5.24	6.67
6	Taft	0.5	NS	EW	4.32	4.97
7		1.0	NS	EW	8.63	9.94
8		1.5	NS	EW	12.94	14.91

統合解析といい対応を示した.

次に任意方向における地震入力エネルギー速度換算値 *V_{dm}(θ)*[®]を用いて検討を行う.水平任意方向 θ (0°≤ θ< 180°)の第 *i* 層の層せん断力 *Q*(θ)・層間変形 δ(θ)を次 式により算出する.

$Q_{i}(\theta) = Q_{xx} \cos \theta + Q_{yi} \sin \theta \qquad (1)$ $\delta_{i}(\theta) = \delta_{xx} \cos \theta + \delta_{xx} \sin \theta \qquad (2)$

$$\partial_{\Lambda} (\theta) = \partial_{xi} \cos \theta + \partial_{yi} \sin \theta \tag{2}$$

ここに, Q_{xi} , Q_{yi} :第*i*層のX・Y方向構面せん断力, δ_{xi} , δ_{yi} :第*i*層のX・Y方向構面層間変形. エネルギー の各方向のスペクトル分布を求める際, $Q_i(\theta) \ge 0$ となる 時点では $0^{\circ} \le \theta < 180^{\circ}$ に, $Q_i(\theta) < 0$ となる時点では $180^{\circ} \le \theta < 360^{\circ}$ として θ の範囲を設定して吸収エネルギ ーの最大応答を $E_{dm}(\theta)$ として次式で算出する.

 $Edm(\theta) = \{\sum_{i=1}^{n} \int Qi(\theta) d\delta(\theta)\}_{\max}$ (3) ここに、 n: 層数

このようにして得られたそれぞれのケースにおける $E_{dm}(\theta)$ の速度換算値 $V_{dm}(\theta)$ を極座標表示したものを図 4 に示す. $V_{dm}(\theta)$ は以下の式によって求める.

$$V_{dm}(\theta) = \sqrt{((2 \text{ gEdm}(\theta))/W)}$$
(4)

ここでの V_{dm}(*θ*)の最大値が倒壊判定の指標になりうると いう提案があり本報でもその指標を用いて検討を行う. なお, V_{dm}(*θ*)の最大値における角度 *θ* は最もエネルギー を吸収した方向であり, 倒壊方向にほぼ対応する. 図 4 より倒壊に至ったケースでは倒壊方向にエネルギーが卓 越しグラフが瓢箪状になることがわかる. V_{dm}(*θ*)の最大 値をそれぞれのパラメータで見ると, 基準モデルとその 2 提案モデルは大きめに評価する傾向が見られる. - 方、2017年度モデルは同程度,あるいは安全側に評価可 能である.

6. まとめ

本報では、簡易な解析モデルを用いて骨組解析を行い そのモデルの妥当性を検証した.柱のモデルは圧縮側の 応力上昇率と第3劣化勾配を調整することで計3つのパ ラメータをつくり検討をおこなった.図3・4より柱に 2017年度モデルを用いることで、ある程度倒壊挙動を再 現できることがわかった.

参考文献

- 森前直樹、向出静司、多田元英:様々な地震動に対して鋼構造 立体骨組が倒壊するときのエネルギー吸収性状、日本建築学 会学術講演梗概集 C-1 分冊,pp.1039-1040, 2014.9
- 吹田啓一郎,松岡祐一,山田哲,島田侑子,多田元英,笠井和 彦:震動台実験の概要と弾性応答特性 -実大4層鉄骨造建 物の完全崩壊実験
- 3) 秋山宏:建築物の耐震極限設計,東京大学出版, 1980.9
- 金令樺,大井謙一,高梨晃一:鉄骨骨組地震応答解析のための 耐力劣化を伴う簡易部材モデル,日本建築学会構造系論文報 告集,No.437,1992.7
- 5) 山田哲,石田孝徳,島田侑子:局部座屈を伴う角形鋼管柱の劣 化域における履歴モデル,日本建築学会構造系論文報告集, No.674, pp.627-636, 2012.4
- 山田哲,秋山宏,桑村仁:局部座屈を伴う箱形断面鋼部材の劣 化域を含む終局挙動,日本建築学会構造系論文集,No.444, pp.135⁻143,2013.9
- 加藤勉:閉断面部材の局部座屈と変形能力,日本建築学会構 造系論文集,No.378, pp.27-36, 1987.8
- 村上友規,向出静司,多田元英:様々な地震動に対する鋼構 造立体ラーメンの倒壊性状比較,2013年度日本建築学会大 会学術講演梗概集,pp.1027-1028,2013.8



図3任意方向における地震入力エネルギー速度換算値 Vam (の (cm/s)